

**GRADED INDEX SINGLE LENS AND IMAGE PICKUP DEVICE USING THE SAME**

**Patent number:** JP9049966  
**Publication date:** 1997-02-18  
**Inventor:** TSUCHIDA HIROBUMI  
**Applicant:** OLYMPUS OPTICAL CO  
**Classification:**  
- **international:** G02B9/02; H04N5/225  
- **european:** G02B3/00G  
**Application number:** JP19950218334 19950804  
**Priority number(s):** JP19950218334 19950804

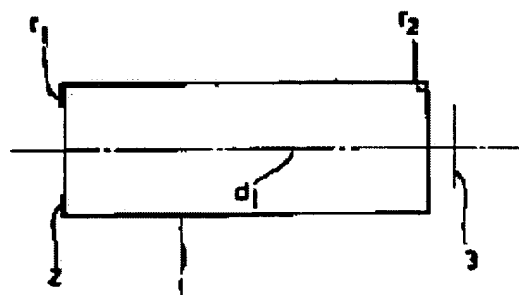
**Also published as:**



US5870229 (A1)

**Abstract of JP9049966**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a graded index type signal lens composed of one lens and having high performance at a low cost by making the lens has a constitution having a specified distribution of refractive index and satisfying a specified condition. **SOLUTION:** This lens is composed of a radial type graded index lens 1 whose both surfaces are plane and have a distribution of refractive index represented by  $n(r) = N_0 + N_1 r^2 + N_2 r^4 + S_v$ , a diaphragm 2 is located on the entrance plane of the graded index lens 1 and an image plane 3 is located on the outside of the graded index lens 1. The graded index lens 1 satisfies four conditions:  $1 < t/f < 3.5$ ,  $-0.2 < f < 4$ ,  $N_2 < 0.2$ ,  $-2 < d/t < 0.5$ ,  $-0.015 < 1/V_1 < 0.015$ . In the relations,  $f$ : the focal distance of the lens,  $t$ : the thickness of the lens,  $d$ : distance from the surface of the lens on the object side to a brightness diaphragm in the direction of optical axis,  $n(r)$ : refractive index of the graded index lens 1 at distance  $r$  in the direction being coincident with the optical axis,  $N_0$ : refractive index on the optical axis,  $N_1$   $N_2$ : second order and fourth order coefficients of refractive indices and  $V_1$ : coefficient representing the Abbe number of a medium.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-49966

(43) 公開日 平成9年(1997)2月18日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B	9/02		G 0 2 B	9/02
H 0 4 N	5/225		H 0 4 N	5/225 D

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平7-218334

(22) 出願日 平成7年(1995)8月4日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 植田 博文

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

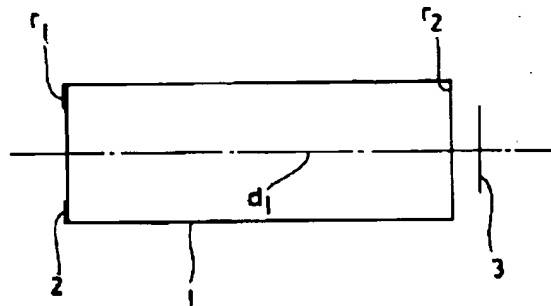
(74) 代理人 弁理士 向 寛二

(54) 【発明の名称】 屈折率分布型単レンズおよびこれを用いた撮像装置

(57) 【要約】

【目的】 本発明の目的は、1枚のレンズよりなる低コストで高性能な屈折率分布型単レンズとこれを用いた撮像装置を提供することにある。

【構成】 本発明の屈折率分布型単レンズは、両端が平面で正の屈折力を持つラジアル型屈折率分布レンズ1枚よりなり、物体側面の近傍に光束を制限する明るさ絞りを有する。又本発明の撮像装置は、上記屈折率分布型単レンズと撮像素子を一体化したものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】両端が平面で正の屈折力を有し下記の式にて表わされる屈折率分布をもつラジアル型屈折率分布レンズ1枚よりなり、物体側面の近傍に光束を制限するための明るさ絞りを有し、以下の条件(1)乃至(4)を満足することを特徴とする屈折率分布型単レンズ。

$$N(r) = N_0 + N_1 r^2 + N_2 r^4 + \dots$$

$$(1) \quad 1 < t/f < 3.5$$

$$(2) \quad -0.2 < f^4 \cdot N_2 < 0.2$$

$$(3) \quad -2 < d/t < 0.5$$

$$(4) \quad -0.015 < 1/V_1 < 0.015$$

ただし、 $f$ はレンズの焦点距離、 $t$ はレンズの厚み、 $d$ はレンズ物体側面から明るさ絞りの光軸方向への距離、又 $N(r)$ は屈折率分布レンズの光軸と直交する方向の距離 $r$ のときの屈折率、 $N_0$ は光軸上の屈折率、 $N_1$ 、 $N_2$ ・・・は夫々2次、4次・・・の屈折率分布係数、 $V_1$ は媒質のアッペ数を表わす係数で下記式にて求められる値である。

$$V_1 = N_{1d} / (N_{1F} - N_{1C})$$

ここで $N_{1d}$ 、 $N_{1F}$ 、 $N_{1C}$ は夫々 $d$ 線、 $F$ 線、 $C$ 線に対する係数 $N_1$ の値である。

【請求項2】物体側に平面を持つラジアル型屈折率分布レンズと撮像素子とを一体化させたことを特徴とする撮像装置。

【請求項3】前記屈折率分布レンズの径が前記撮像素子の撮像面より大径であり、前記屈折率分布レンズは、その一端部の外径が切除されて細くなった細径部を有し、この細径部が前記撮像面に対向するように一体化された請求項2の撮像装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ビデオカメラなど電子撮像を行うための撮像レンズ等として好適な屈折率分布型単レンズおよびこれを用いた撮像装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、家庭用ビデオカメラやテレビ電話やカメラ付ドアホンなどに見られるように、電子的な撮像を行うカメラが普及してきており、これらに用いられるレンズ系の小型、低コスト化は大きな課題となっている。これらに用いられるレンズ系は、固定焦点距離のものでは3〜6枚程度のレンズ構成を持っているものが一般的であるが、小型、低コスト化のために1枚のレンズで構成されるレンズ系も知られている。このような1枚のレンズよりなるレンズ系の従来例として特開平4-191716号公報に示される非球面を用いたものがある。また、用途は異なるが、レーザー用コリメータとして特開昭60-91316号公報に示される両平面の屈折率分布ロッドレンズや、光ファイバーコネクタ用として特開昭50-11045号公報に示される両平面の

屈折率分布ロッドレンズや、光ピックアップ、レーザー用コリメータとして特開昭60-140307号公報に示される物体側が凹面で像側に平面を有するラジアル型屈折率分布レンズ1枚からなるものがある。さらに、2枚構成の内視鏡対物レンズとして特開昭52-29238号公報に示される均質凹レンズと両平面屈折率レンズを組み合わせたレンズ系も知られている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】これら従来例のうち、3〜6枚程度のレンズ構成のレンズ系は、レンズ枚数が多くコスト高となるうえ、組み立て誤差のため性能が劣化するという欠点がある。また、特開平4-191716号公報に示される非球面を用いた1枚構成のレンズ系は、像面湾曲、歪曲収差、色収差が大きい欠点がある。特開昭60-91316号公報および特開昭50-11045号公報に示される両平面の屈折率分布レンズは、単色用のレンズでしかも軸上性能を重視したものであり、軸外収差が大きいという色収差については考慮されていない。特開昭60-140307号公報に示されるレンズは、物体側が凹面で像側が平面のラジアル型屈折率分布レンズ1枚からなるレンズ系は、非点収差の発生量が大きく、また色収差については考慮されていない。さらに、特開昭52-29238号公報に示される2枚構成のレンズ系は、2枚構成とコスト高になるうえ、色収差の発生量が大きいという欠点がある。

【0004】本発明は、以上の問題点に鑑み、1枚のレンズよりなり低コストで、かつ良好な光学性能を持った屈折率分布型単レンズおよびこれを用いた撮像装置を提供するものである。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の屈折率分布型単レンズは、両端が平面で正の屈折力を有する下記式にて表わされる屈折率分布を持つラジアル型屈折率分布レンズ1枚よりなり、物体側面の近傍に光束を制限するための明るさ絞りを有し、以下の条件を満足することを特徴とする。

## 【0006】

$$N(r) = N_0 + N_1 r^2 + N_2 r^4 + \dots$$

$$(1) \quad 1 < t/f < 3.5$$

$$(2) \quad -0.2 < f^4 \cdot N_2 < 0.2$$

$$(3) \quad -2 < d/t < 0.5$$

$$(4) \quad -0.015 < 1/V_1 < 0.015$$

ただし、 $f$ はレンズの焦点距離、 $t$ はレンズの厚み、 $d$ はレンズ物体側面から明るさ絞りの光軸方向への距離、又 $N(r)$ は屈折率分布レンズの光軸と直交する方向の距離 $r$ のときの屈折率、 $N_0$ は光軸上の屈折率、 $N_1$ 、 $N_2$ ・・・は夫々2次、4次・・・の屈折率分布係数、 $V_1$ は媒質のアッペ数を表わす係数で下記式にて求められる値である。

$$V_1 = N_{1d} / (N_{1F} - N_{1C})$$

ここで $N_{1d}$ ,  $N_{1F}$ ,  $N_{1C}$ は夫々d線, F線, C線に対する係数 $N_1$ の値である。

【0008】また、本発明の別の構成は、物体側に平面を持つラジアル型屈折率分布レンズと撮像素子とを一体化させた撮像装置である。

【0009】本発明は、従来のこの種レンズの欠点を除去するために両平面のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で撮像レンズを構成することを考えた。両平面のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で撮像レンズが構成できれば、簡単な構成となるため、レンズエレメント自体の低

$$(a) \quad n(r) = N_0 + N_1 \cdot r^2 + N_2 \cdot r^4 + \dots$$

また、これらの分布係数は波長ごとに異なる値を持っており、各波長に対する分布係数をその波長を表す記号（例えば、d, C, F）をつけて表すと、ラジアル型屈

$$(b) \quad V_0 = (N_{0d} - 1) / (N_{0F} - N_{0C})$$

$$(c) \quad V_i = N_{id} / (N_{iF} - N_{iC}) \quad (i = 1, 2, \dots)$$

ここで、 $N_{0d}$ ,  $N_{0F}$ ,  $N_{0C}$ は、光軸でのd線, F線, C線に対する屈折率、 $N_{1d}$ ,  $N_{1F}$ ,  $N_{1C}$ は夫々d線, F線, C線に対する分布係数 $N_1$ である。

【0013】ラジアル型屈折率分布レンズでは、例えばアプライド オプティクス、第21巻、993頁～、（以下文献Aと呼ぶ）などに示されるように、従来の均質球面レンズに比べて像面湾曲、色収差、球面収差などを良好に補正できることが知られている。ところが、アプライド オプティクス、第19巻、1081頁～、（以下文献Bと呼ぶ）などにも示されるように、ラジアル型屈折率分布レンズ1枚だけでは、いわゆるザイデルの5収差と軸上色収差、倍率収差を含めた高度な収差補正はできないと言われている。そのため、通常ラジアル型屈折率分布レンズを用いてこれら7収差を含めた高度な収差補正を行なう場合には、前記文献Aにもあるように2枚のラジアル型屈折率分布レンズを絞りに対して向かい合わせに配置するなど2枚以上のレンズの組み合わせが必要となる。

【0014】本発明は、実際の撮像レンズ等においては若干の像面湾曲と若干の歪曲収差が許容されることに着目し、両平面のラジアル型屈折率分布レンズ1枚でレンズ系として必要な実用レベルでの収差補正を行った光学系を考えた。ラジアル型屈折率分布レンズ1枚でレンズ系を構成しようとした場合に、近軸レイアウト上は、素材作製の容易さを考えて最大屈折率差をあまり大きくしないように考慮する必要がある。また、収差補正上は、特に像面湾曲、球面収差、非点収差、色収差の補正が問題となる。

【0015】ここで両平面のラジアル型屈折率分布レンズ1枚でレンズ系を構成する場合の近軸レイアウトおよび収差補正について述べる。

【0016】まず、近軸レイアウトであるが、ラジアル型屈折率分布レンズの屈折力 $\phi_a$ は近似的に次の式で与えられることが知られている。

コスト化が図れ、しかも両平面であることから加工や組み立て誤差の影響も極端に少なくなるなど大きなメリットが生じる。更に鏡枠の構造を簡単にすることにもつながる。

【0010】ここでラジアル型屈折率分布レンズの特定の波長に対する屈折率分布は、光軸と直交する方向の距離 $r$ 、半径 $r$ のところでの屈折率を $n(r)$ 、光軸上の屈折率を $N_0$ 、分布係数を $N_1$ ,  $N_2$ ,  $\dots$ とすると以下の式(a)で表わされるものである。

【0011】

折率分布レンズのアップベ数は以下の式(b), (c)で与えられる。

【0012】

$$【0017】(d) \quad \phi_a = -2N_1 t$$

ここで、 $t$ はレンズの厚みである。両平面のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で撮像レンズを構成しようとする場合、面は屈折力を持たないので、必要な屈折力はすべて媒質でまかなってやる必要があり、媒質に大きな屈折力が必要となる。ところが、屈折力を大きくするためには、式(d)からわかるように、 $N_1$ もしくは $t$ を大きくする必要がある。しかし、 $N_1$ を大きくしすぎるとレンズの中心と周辺との最大屈折差が大きくなりすぎ、素材の作製が困難になる。そこで、 $t$ を適度に大きくして所望の屈折力を得るために、本発明では次の条件を設定した。

$$【0018】(1) \quad 1 < t/f < 3.5$$

この条件(1)は、最大屈折率差を極端に大きくすることなく媒質に適度な屈折力を持たせるための条件である。その下限を越えると最大屈折率差が大きくなりすぎて素材作製が困難になり、上限を超えると、近距離物点に対してもレンズの中に像ができ、ピント合わせができなくなる。

【0019】次に、収差補正について説明する。まず、像面湾曲について述べるが、ラジアル型屈折率分布レンズのベッツバール和PTZは近似的に以下の式(e)で与えられる。

【0020】

$$(e) \quad PTZ = (\phi_s / N_0) + (\phi_a / N_0^2)$$

ここで、 $\phi_s$ はラジアル型屈折率分布レンズの面のみの屈折力、 $\phi_a$ はラジアル型屈折率分布レンズの媒質のみの屈折力である。この式(e)より、媒質のみにレンズ作用を持たせた場合のレンズ系のベッツバール和は、面のみによるものに比べて $1/N_0$ に小さくなることがわかる。したがって、ラジアル型屈折率分布レンズでは、両平面で用いたとしても、均質レンズ1枚の場合に比べてベッツバール和は $1/N_0$ に改善されることになる。結局、両平面ラジアル型屈折率分布レンズでは、正のベ

ツツパール和が残存し、像面湾曲は負の方向へ少し残存することになるが、その度合いは均質レンズ1枚の場合よりは少なく、実用上は許容されるレベルのものとなる。特に、例えば内視鏡などのように観察、撮影する物体の方がドームを内側から見たように湾曲しているケースでは、むしろ若干の負の像面湾曲があった方が望ましい場合もある。ただし、望ましくはベースの屈折率 $N_0$ を1.6以上とし、像面湾曲の度合いを少なくするとさらによい。

【0021】次に、球面収差を良好にバランスさせるためには、次の条件(2)を満足することが望ましい。

【0022】

$$(2) \quad -0.2 < f^4 \cdot N_2 < 0.2$$

屈折率分布レンズにおいては、屈折率分布係数 $N_2$ を変化させることにより、レンズ系全体のパワー配置を変化させることなく球面収差をコントロールできるが、像面湾曲の度合いから考えると球面収差を若干アンダー側に出しておいた方が中心と周辺での像位置が近くなり望ましい。そのための条件を規定するのが条件(2)であり、その下限を超えると球面収差がアンダー側に過大となり、上限を超えると球面収差が補正過剰となる。

【0023】ただし、望ましくは条件(2)の代りに次の条件(2')を満足するとさらに良好な収差補正ができる。

【0024】

$$(2') \quad -0.1 < f^4 \cdot N_2 < 0.1$$

次に、非点収差は極力補正することが望ましいが、そのためには、次の条件(3)を満足することが望ましい。

$$【0025】(3) \quad -2 < d/t < 0.5$$

条件(3)は絞りの位置を規定するものであり、この条件(3)に示す程度に絞りをレンズの物体側の面の近傍に配置することにより、非点隔差を減少させることができる。条件(3)の下限を超えるとメリディオナル像面が負の方向へ大きく倒れ、非点収差が悪化する。上限を超えると逆にメリディオナル像面が正の方向へ大きく倒れ、非点収差が悪化する。

【0026】以上の条件を満足させると、歪曲収差は若干負の方向に出ていわゆるたる型の歪曲収差となるが、実用上は許容されるレベルのものとなる。特別にこの歪曲収差を小さく抑える必要がある場合には、それを電氣的に補正することも可能である。

【0027】次に、色収差で特に問題となりやすい倍率色収差を良好に補正するためには、媒質のアッペ数 $V_1$ が次の条件(4)を満足することが望ましい。

【0028】

$$(4) \quad -0.015 < 1/V_1 < 0.015$$

本発明のレンズ構成では、以上に説明した条件により、各々の面での倍率色収差の発生は小さいものとなる。したがって、トータルの倍率色収差を良好に補正するためには、媒質での色収差の発生を小さく抑えればよいこと

になり、そのための条件を示したのが条件(4)である。この条件の上限を超えると、媒質での色収差発生が大きくなり、全系での倍率色収差が過大となって好ましくない。また下限を超えると逆に倍率色収差が補正過剰となる。

【0029】特に撮像素子の画素数が多く、倍率の色収差をさらに小さく抑える必要がある場合には、媒質のアッペ数 $V_1$ が次の条件(4')を満足するとさらによい。

【0030】

$$(4') \quad -0.01 < 1/V_1 < 0.01$$

【0031】

【発明の実施の形態】本発明の屈折率分布型単レンズは、図1乃至図4に示すような構成である。これら撮像レンズのうち、図1に示す撮像レンズは、両面が平面のラジアル型屈折率分布レンズ1よりなり、絞り2はこの屈折率分布レンズ1の入射面にあり、像面3は屈折率分布レンズ1の射出面より外に位置している。又屈折率分布レンズ1は条件(1)、(2)、(3)、(4)を満足するように構成されている。

【0032】図2に示す屈折率分布型単レンズは、両面が平面のラジアル型屈折率分布レンズ4よりなり、絞り5は屈折率分布レンズ4の入射面より物体側に位置し又屈折率分布レンズ4の射出面には樹脂層6が設けられ、その屈折率分布レンズとは反対側の面が像面になっている。

【0033】図3に示す屈折率分布型単レンズは、両面が平面のラジアル型屈折率分布レンズ8よりなり絞り9はこのラジアル型屈折率分布レンズ8の入射面よりもレンズ内に位置し又像面はラジアル型屈折率分布レンズ8の射出面上に位置する構成である。

【0034】図4に示す屈折率分布型単レンズは、両面が平面のラジアル型屈折率分布レンズ11よりなり、絞り2がこのラジアル型屈折率分布レンズ11の入射面に位置し、又ラジアル型屈折率分布レンズ11の射出面には保護ガラス13が配置されその射出面より外に像が形成されるように構成されている。

【0035】図2乃至図4の屈折率分布型単レンズでも図1に示すレンズと同様に屈折率分布レンズが条件(1)、(2)、(3)、(4)を満足する。

【0036】前述のように、本発明は、前記のような屈折率分布型単レンズと撮像素子とを一体化することによってレンズ機能を備えた撮像装置を得ることにあ

【0037】次に図1乃至図4等の屈折率分布型単レンズを一体化した撮像装置の例を図面にもとづき説明する。

【0038】図5は屈折率分布型単レンズと撮像素子を一体化させた第1の例を示す図で、撮像素子の保護ガラスに本発明の屈折率分布型単レンズを接合して用いた例であり、図4に示す例のレンズ系を適用したものであ

る。この図5において15はレンズ、16は保護ガラス、17は撮像面、18は撮像チップ、19はセラミック基板である。又図6は第2の例で本発明のラジアル型屈折率分布レンズを樹脂を介して撮像素子と一体化した例であり、図2に示す単レンズを適用したものである。これにより、従来あった保護ガラスは省略することができる。図6において20はレンズ、21は樹脂（斜線部）、22は撮像面、23は撮像チップ、24はセラミック基板である。図7は第3の例で撮像素子の撮像面と本発明の屈折率分布型単レンズの間に若干の空気間隔を持たせて一体化した例であり、図1に示す単レンズを適用したものである。これにより、従来あった保護ガラスは省略することができる。この図7において25はレンズ、26は撮像面、27は撮像チップ、28はセラミック基板である。又図8は第4の例で撮像素子の撮像面に本発明の屈折率分布型単レンズを直接接合した例であり、図3に示す単レンズを適用したものである。これにより、従来あった保護ガラスは省略することができる。この例では、接合の際に撮像チップ周辺の結線部との干渉を避けるために、レンズの像側面に加工を施している。図8において、29はレンズ、30は撮像面、31は撮像チップ、32はセラミック基板、33は結線部である。また、以上の例ではいずれもレンズの側面は不要な光をカットするために砂ざり面とした上で、黒色の塗料を塗布してある。

【0039】このように、本発明のラジアル型屈折率分布レンズ1枚からなる単レンズを撮像素子と一体化することにより、撮像レンズ機能を持った撮像装置を得ることができる。そのような撮像レンズ機能を持った撮像装置を用いれば、それ自体が結像作用を持っているため、特に別なレンズをつけることなくそれ自体で撮像を行うことができる。撮像素子と一体化させるレンズとしては、図示する各例では両側平面のラジアル型屈折率分布レンズを用いているが、像側が平面であれば、物体側の面に曲率がついていても一体化させるうえでは差し支え

ない。

【0040】本発明のレンズ系中で、図1および図4はレンズの物体側の面上に絞りを設けた構成であるが、このときの実際の絞りの構成例を図9に示す。図9(A)は、レンズの物体側面上で光線をカットしたい部分を砂ざりしたうえで黒色塗料33を塗布することにより絞り機能を持たせた例である。レンズの側面も不要な光をカットするために砂ざりしたうえで黒色の塗料34を塗布している。又35は、レンズ開口である。また図9の(B)は、レンズの物体側面で光線をカットしたい部分にアルミコート36を施した例である。レンズの側面は、図9の(A)と同様に黒色の塗料37を塗布してあり、38は、レンズ開口である。また図3に示すレンズ系は、レンズ内部に絞りを設ける構成となるが、このときの実際の絞りの構成例を図10に示す。図10の(A)は、レンズの側面にV字型の切れ込みを入れて光束を制限する絞りの働きを持たせた例である。レンズの側面およびV字部分には、光をカットするために砂ざりをしたうえで、黒色の塗料40を塗布してあり、又39はレンズ本体である。また、図10の(B)は、レンズの物体側面をステップ状にカットして光束を制限する絞りの働きを持たせた例である。レンズの側面およびステップ状の部分には、光をカットするために砂ざりをしたうえで、黒色の塗料42を塗布してある。又41はレンズ本体である。以上のような絞り構成とすることにより、絞り機構として特別な部材を付加することなく、簡単に明るさ絞りを構成することができる。

【0041】

【実施例】次に本発明の屈折率分布型単レンズの実施例を示す。これら実施例は、既に述べた図1乃至図4に示す構成のレンズ系で下記実施例1乃至実施例4のデータを有している。ここで基準波長としてはd線を用いている。

実施例1

$$\begin{aligned} f &= 6, F/2.0, \text{最大像高 } 1.5, \text{画角 } 2\omega = 28.9^\circ \\ r_1 &= \infty (\text{絞り}) & d_1 &= 13.355 & n_1 & (\text{屈折率分布レンズ}) \\ r_2 &= \infty \\ \text{屈折率分布レンズ} \\ N_0 &= 1.60, N_1 = -0.89106 \times 10^{-2}, N_2 = -0.20248 \times 10^{-4} \\ V_0 &= 45.0, V_1 = 145.0, V_2 = 145.0 \\ t/f &= 2.23, f^4 \cdot N_2 = -0.0262, d/t = 0, 1/V_1 = 0.007 \end{aligned}$$

【0042】実施例2

$$\begin{aligned} f &= 6, F/1.0, \text{最大像高 } 1.8, \text{画角 } 2\omega = 34.9^\circ \\ r_1 &= \infty (\text{絞り}) & d_1 &= 9.800 \\ r_2 &= \infty & d_2 &= 14.795 & n_1 & (\text{屈折率分布レンズ}) \\ r_3 &= \infty & d_3 &= 1.000 & n_2 &= 1.49216 & \nu_2 &= 57.5 \\ r_4 &= \infty \\ \text{屈折率分布レンズ} \\ N_0 &= 1.70, N_1 = -0.82720 \times 10^{-2}, N_2 = 0.12569 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$V_0 = 50.0, V_1 = 300, V_2 = 300$$

$$t/f = 2.46, f^4 \cdot N_2 = 0.0163, d/t = -1.63, 1/V_1 = 0.003$$

## 【0043】実施例3

$$f = 4, F/4.0, \text{最大像高 } 1.5, \text{画角 } 2\omega = 43.2^\circ$$

$$r_1 = \infty \quad d_1 = 1.000 \quad n_1 \text{ (屈折率分布レンズ)}$$

$$r_2 = \infty \text{ (絞リ)} \quad d_2 = 10.468$$

$$r_3 = \infty$$

屈折率分布レンズ

$$N_0 = 1.65, N_1 = -0.19745 \times 10^{-1}, N_2 = 0.21139 \times 10^{-3}$$

$$V_0 = 45.0, V_1 = 300, V_2 = 300$$

$$t/f = 2.87, f^4 \cdot N_2 = 0.0541, d/t = 0.25, 1/V_1 = 0.003$$

## 【0044】実施例4

$$f = 5, F/2.8, \text{最大像高 } 1.2, \text{画角 } 2\omega = 27.7^\circ$$

$$r_1 = \infty \text{ (絞リ)} \quad d_1 = 7.117 \quad n_1 \text{ (屈折率分布レンズ)}$$

$$r_2 = \infty \quad d_2 = 1.500 \quad n_2 = 1.51633 \quad \nu_2 = 64.2$$

$$r_3 = \infty$$

屈折率分布レンズ

$$N_0 = 1.55, N_1 = -0.17043 \times 10^{-1}, N_2 = -0.91293 \times 10^{-4}$$

$$V_0 = 55.0, V_1 = -100.0, V_2 = -100.0$$

$$t/f = 1.42, f^4 \cdot N_2 = -0.0571, d/t = 0, 1/V_1 = -0.01$$

ただし  $r_1, r_2, \dots$  は各面の曲率半径、 $d_1, d_2, \dots$  は各面間隔、 $n_1, n_2, \dots$  は各レンズの屈折率、 $\nu_1, \nu_2, \dots$  は各レンズのアッペ数である。尚屈折率分布レンズに関しては、屈折率  $N_0$ 、分布係数  $N_1, N_2$ 、分散を表わす値  $V_0, V_1$  を示す。

【0045】実施例1は、第1図に示すように本発明の両平面ラジアル型屈折率分布レンズを単体で用いるものである。

【0046】上記実施例1の屈折率分布型単レンズは、物体距離1000のとき像はレンズ後方約1のところから形成される。この実施例の物体距離1000に対する収差曲線図は、図11に示すとおりであり、各収差とも実用レベルで良好に補正されている。

【0047】実施例2は、図2に示すように本発明の両平面ラジアル型屈折率分布レンズをその像側面と撮像面を樹脂を介して接合して用いる例で、物体距離がほぼ10000のとき、像が撮像面に上に形成される構成となっている。物体距離が10000より大きくずれると撮像面上の像はぼけたものとなる。

【0048】この実施例2の物体距離10000に対する収差状況は、図12に示すとおりである。各収差とも実用レベル良好に補正されている。また、本実施例は、レンズの明るさがF1と非常に明るく、暗い被写体に対して非常に有利である。

【0049】実施例3は、図3に示すように、本発明両平面ラジアル型屈折率分布レンズを単体で用い、レンズの像側面を撮像面に直接接合して用いる例で、物体距離がほぼ20のとき、像が撮像面上に形成される構成となっている。物体距離が20より大きくずれると撮像面上の像はぼけたものとなる。

【0050】この実施例3の物体距離20に対する収差曲線図は、図6に示すとおりである。各収差とも実用レベルで良好に補正されている。

【0051】実施例4は、図4に示すように、本発明の両平面ラジアル型屈折率分布レンズを撮像素子の保護ガラスに接着して用いる例である。

【0052】この実施例4は、物体距離1000のとき、保護ガラスから約1.5後方に像が形成されている。この実施例3の物体距離1000に対する収差曲線図は、図11に示すとおりであり、各収差とも実用レベルで良好に補正されている。尚、上記各実施例における部分分数比に関しては、軸上についてはヘルツベルガーの分数式により計算することとし、高次の項は一律に0.3として計算した。なお、以上においては単一のラジアル型屈折率分布型レンズを単独で撮像レンズとして用いる場合を説明したが、本発明の屈折率分布型単レンズは組み合わせレンズの一構成要素として用いることもできる。具体的には、例えばアフォーカルコンバータと本発明の屈折率分布型単レンズとを組み合わせる撮像レンズを構成するようにしてもよい。またクローズアップ用のレンズと本発明の屈折率分布型単レンズとを組み合わせる近距離撮影用の撮像レンズを構成するようにしてもよい。更にレトロフォーカス型撮像レンズの後群収差系として本発明を用いたり、ズームレンズのリレー系（マスターレンズ）として本発明の屈折率分布型単レンズを用いてもよい。

## 【0053】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば1枚のレンズよりなり低コストで、かつ十分な光学性能を持ったレンズ系を提供することができる。また、撮像レ

レンズ機能を有した撮像装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の撮影レンズの実施例1の構成を示す図

【図2】本発明の撮影レンズの実施例2の構成を示す図

【図3】本発明の撮影レンズの実施例3の構成を示す図

【図4】本発明の撮影レンズの実施例4の構成を示す図

【図5】レンズ系と撮像素子とを一体化させた第1の例を示す図

【図6】レンズ系と撮像素子とを一体化させた第2の例を示す図

【図7】レンズ系と撮像素子とを一体化させた第3の例を示す図

を示す図

【図8】レンズ系と撮像素子とを一体化させた第4の例を示す図

【図9】本発明の撮影レンズの実施例1, 2における絞りの構成を示す図

【図10】本発明の撮影レンズの実施例4の絞りの構成を示す図

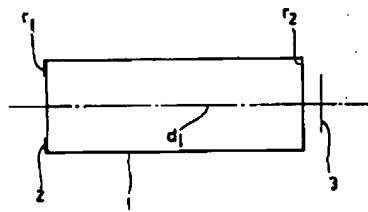
【図11】本発明の撮影レンズの実施例1の収差曲線図

【図12】本発明の撮影レンズの実施例2の収差曲線図

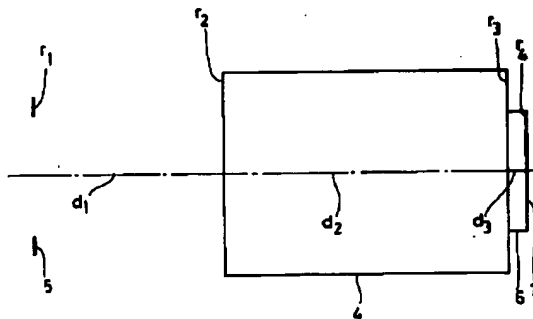
【図13】本発明の撮影レンズの実施例3の収差曲線図

【図14】本発明の撮影レンズの実施例4の収差曲線図

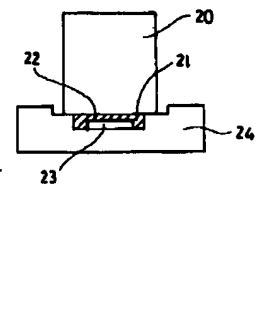
【図1】



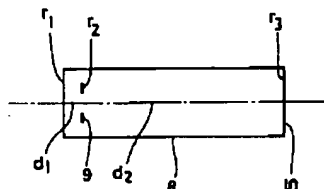
【図2】



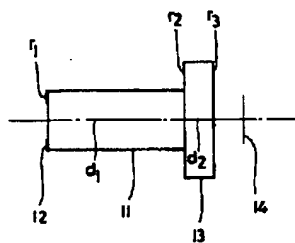
【図6】



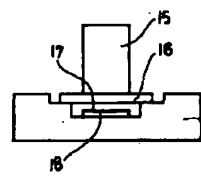
【図3】



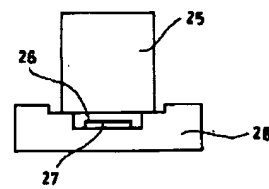
【図4】



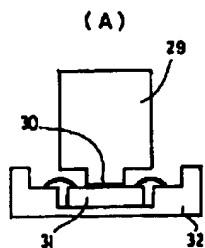
【図5】



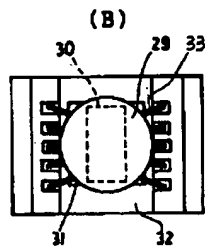
【図7】



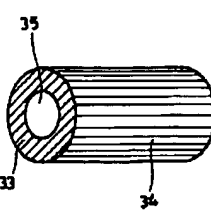
【図8】



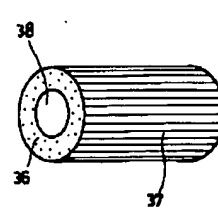
【図9】



(A)

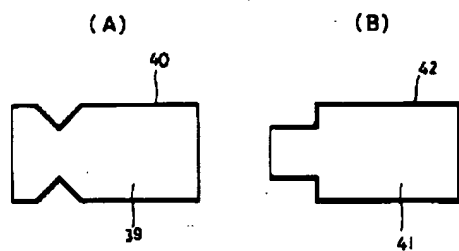


(B)

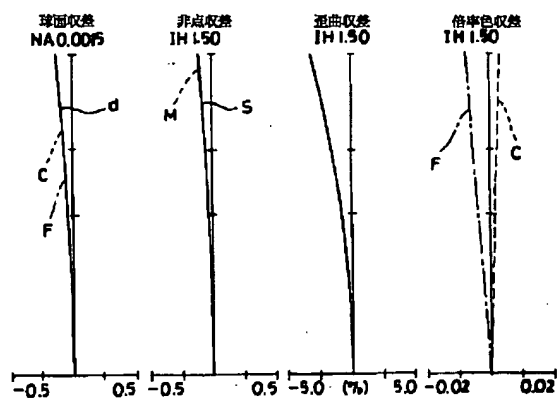




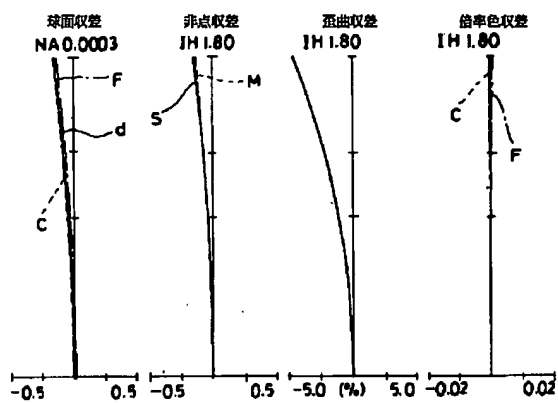
【図10】



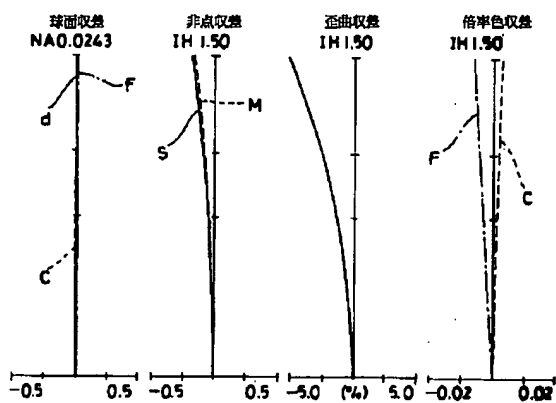
【図11】



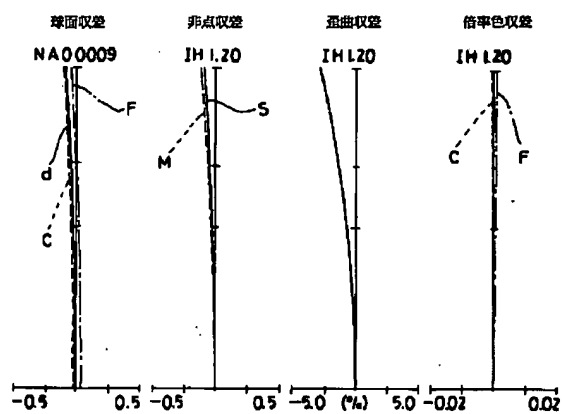
【図12】



【図13】



【図14】



## 【手続補正書】

【提出日】平成8年9月10日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項1

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項1】両端が平面で正の屈折力を有し下記の式にて表わされる屈折率分布をもつラジアル型屈折率分布レンズ1枚よりなり、物体側面の近傍に光束を制限するための明るさ絞りを有し、以下の条件(1)乃至(4)を満足することを特徴とする屈折率分布型単レンズ。

$$n(r) = N_0 + N_1 r^2 + N_2 r^4 + \dots$$

$$(1) \quad 1 < t/f < 3.5$$

$$(2) \quad -0.2 < f^4 \cdot N_2 < 0.2$$

$$(3) \quad -2 < d/t < 0.5$$

$$(4) \quad -0.015 < 1/V_1 < 0.015$$

ただし、 $f$ はレンズの焦点距離、 $t$ はレンズの厚み、 $d$ はレンズ物体側面から明るさ絞りの光軸方向への距離、又 $n(r)$ は屈折率分布レンズの光軸と直交する方向の距離 $r$ のところでの屈折率、 $N_0$ は光軸上の屈折率、 $N_1$ 、 $N_2 \dots$ は夫々2次、4次 $\dots$ の屈折率分布係数、 $V_1$ は媒質のアッペ数を表わす係数で下記式にて求められる値である。

$$V_1 = N_1 d / (N_1 F - N_1 C)$$

ここで $N_1 d$ 、 $N_1 F$ 、 $N_1 C$ は夫々 $d$ 線、 $F$ 線、 $C$ 線に対する係数 $N_1$ の値である。

## 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項2

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項2】像側に平面を持つラジアル型屈折率分布レンズと撮像素子とを一体化させたことを特徴とする撮像装置。

## 【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0003

【補正方法】変更

【補正内容】

【0003】

【発明が解決しようとする課題】これら従来例のうち、3～6枚程度のレンズ構成のレンズ系は、レンズ枚数が多くコスト高となるうえ、組み立て誤差のため性能が劣化するという欠点がある。また、特開平4-191716号公報に示される非球面を用いた1枚構成のレンズ系は、像面湾曲、歪曲収差、色収差が大きい欠点がある。特開昭60-91316号公報および特開昭50-11045号公報に示される両平面の屈折率分布レンズは、単色用のレンズでしかも軸上性能を重視したものであ

り、軸外収差が大きい色収差については考慮されていない。特開昭60-140307号公報に示される物体側が凹面で像側が平面のラジアル型屈折率分布レンズ1枚からなるレンズ系は、非点収差の発生量が大きく、また色収差については考慮されていない。さらに、特開昭52-29238号公報に示される2枚構成のレンズ系は、2枚構成とコスト高になるうえ、色収差の発生量が大きいという欠点がある。

## 【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正内容】

【0006】

$$n(r) = N_0 + N_1 r^2 + N_2 r^4 + \dots$$

$$(1) \quad 1 < t/f < 3.5$$

$$(2) \quad -0.2 < f^4 \cdot N_2 < 0.2$$

$$(3) \quad -2 < d/t < 0.5$$

$$(4) \quad -0.015 < 1/V_1 < 0.015$$

ただし、 $f$ はレンズの焦点距離、 $t$ はレンズの厚み、 $d$ はレンズ物体側面から明るさ絞りの光軸方向への距離、又 $n(r)$ は屈折率分布レンズの光軸と直交する方向の距離 $r$ のところでの屈折率、 $N_0$ は光軸上の屈折率、 $N_1$ 、 $N_2 \dots$ は夫々2次、4次 $\dots$ の屈折率分布係数、 $V_1$ は媒質のアッペ数を表わす係数で下記式にて求められる値である。

## 【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0016

【補正方法】変更

【補正内容】

【0016】まず、近軸レイアウトであるが、ラジアル型屈折率分布レンズの媒質の屈折力 $\phi_m$ は近似的に次の式で与えられることが知られている。

## 【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正内容】

【0019】次に、収差補正について説明する。まず、像面湾曲について述べるが、ラジアル型屈折率分布レンズのベッツパール和PTZは以下の式(e)で与えられる。

## 【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正内容】

【0038】図5は屈折率分布型単レンズと撮像素子を

一体化させた第1の例を示す図で、撮像素子の保護ガラスに本発明の屈折率分布型単レンズを接合して用いた例であり、図4に示す例のレンズ系を適用したものである。この図5において15はレンズ、16は保護ガラス、17は撮像面、18は撮像チップ、19はセラミック基板である。又図6は第2の例で本発明のラジアル型屈折率分布レンズを樹脂を介して撮像素子と一体化した例であり、図2に示す単レンズを適用したものである。これにより、従来あった保護ガラスは省略することができる。図6において20はレンズ、21は樹脂（斜線部）、22は撮像面、23は撮像チップ、24はセラミック基板である。図7は第3の例で撮像素子の撮像面と本発明の屈折率分布型単レンズの間に若干の空気間隔を持たせて一体化した例であり、図1に示す単レンズを適用したものである。これにより、従来あった保護ガラスは省略することができる。この図7において25はレンズ、26は撮像面、27は撮像チップ、28はセラミック基板である。又図8は第4の例で撮像素子の撮像面に本発明の屈折率分布型単レンズを直接接合した例であり、図3に示す単レンズを適用したものである。これにより、従来あった保護ガラスは省略することができる。この例では、接合の際に撮像チップ周辺の結線部との干渉を避けるために、レンズの像側面に加工を施している。図8において、29はレンズ、30は撮像面、31は撮像チップ、32はセラミック基板、43は結線部である。また、以上の例ではいずれもレンズの側面は不要な光をカットするために砂ずり面とした上で、黒色の塗料を塗布してある。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0050

【補正方法】変更

【補正内容】

【0050】この実施例3の物体距離20に対する収差曲線図は、図13に示すとうりである。各収差とも実用レベルで良好に補正されている。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0052

【補正方法】変更

【補正内容】

【0052】この実施例4は、物体距離1000のとき、保護ガラスから約1.5後方に像が形成されている。この実施例4の物体距離1000に対する収差曲線図は、図14に示すとうりであり、各収差とも実用レベルで良好に補正されている。尚、上記各実施例における部分分数比に関しては、軸上についてはヘルツベルガーの分数式により計算することとし、高次の項は一律に0.3として計算した。なお、以上においては単一のラジアル型屈折率分布型レンズを単独で撮像レンズとして

用いる場合を説明したが、本発明の屈折率分布型単レンズは組み合わせレンズの一構成要素として用いることもできる。具体的には、例えばアフォーカルコンバータと本発明の屈折率分布型単レンズとを組み合わせる撮像レンズを構成するようにしてもよい。またクローズアップ用のレンズと本発明の屈折率分布型単レンズとを組み合わせる近距離撮影用の撮像レンズを構成するようにしてもよい。更にレトロフォーカス型撮像レンズの後群収斂系として本発明を用いたり、ズームレンズのリレー系（マスターレンズ）として本発明の屈折率分布型単レンズを用いてもよい。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図面の簡単な説明

【補正方法】変更

【補正内容】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の撮影レンズの実施例1の構成を示す図

【図2】本発明の撮影レンズの実施例2の構成を示す図

【図3】本発明の撮影レンズの実施例3の構成を示す図

【図4】本発明の撮影レンズの実施例4の構成を示す図

【図5】レンズ系と撮像素子とを一体化させた第1の例を示す図

【図6】レンズ系と撮像素子とを一体化させた第2の例を示す図

【図7】レンズ系と撮像素子とを一体化させた第3の例を示す図

【図8】レンズ系と撮像素子とを一体化させた第4の例を示す図

【図9】本発明の撮影レンズの実施例1、4における絞りの構成を示す図

【図10】本発明の撮影レンズの実施例3の絞りの構成を示す図

【図11】本発明の撮影レンズの実施例1の収差曲線図

【図12】本発明の撮影レンズの実施例2の収差曲線図

【図13】本発明の撮影レンズの実施例3の収差曲線図

【図14】本発明の撮影レンズの実施例4の収差曲線図

【手続補正11】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図8

【補正方法】変更

【補正内容】

【図8】

